



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 35 38 996.6  
②2 Anmeldetag: 2. 11. 85  
④3 Offenlegungstag: 14. 5. 87

*Behördeneigentum*

DE 3538996 A1

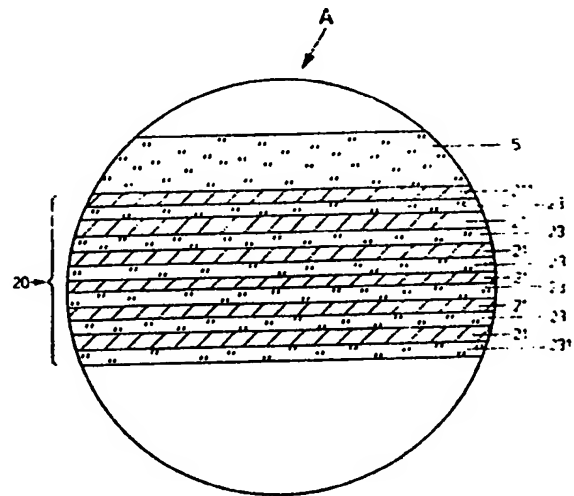
⑦1 Anmelder:  
Philips Patentverwaltung GmbH, 2000 Hamburg, DE

⑦4 Vertreter:  
Nehmzow-David, F., Pat.-Ass., 2000 Hamburg

⑦2 Erfinder:  
Vitt, Bruno, Dr.rer.nat., 5100 Aachen, DE

⑤4 Interferenzfilter

Interferenzfilter auf einem, für den sichtbaren Teil des Spektrums transparenten Substrat aus abwechselnden dielektrischen Schichten jeweils aus Material mit höherem (H) und mit niedrigerem (L) Brechungsindex unter Anwendung von  $\lambda/4$ -Schichten, das so ausgelegt ist, daß Strahlung eines gewünschten Wellenlängenbereichs durchgelassen und Strahlung der benachbarten Wellenlängenbereiche reflektiert wird, wobei neben  $\lambda/4$ -Schichten  $\lambda/2$ -Schichten eingesetzt sind mit einer Schichtenfolge in Form von zwei aufeinanderfolgenden Schichtstapeln (Doppelstapel) (20), wobei der eine Schichtstapel aus  $\lambda/4$ - (H-) und (L-) Schichten und der andere Schichtstapel aus abwechselnden  $\lambda/4$ - und  $\lambda/2$ - (H-) und (L-) Schichten besteht und wobei  $\lambda$  die Ausleuchtungswellenlänge des Interferenzfilters ist.



DE 3538996 A1

1. Interferenzfilter auf einem, für den sichtbaren Teil des Spektrums transparenten Substrat aus abwechselnden dielektrischen Schichten jeweils aus Material mit höherem (*H*) und mit niedrigerem (*L*) Brechungsindex unter Anwendung von  $\lambda/4$ -Schichten, das so ausgelegt ist, daß Strahlung eines gewünschten Wellenlängenbereichs durchgelassen und Strahlung der benachbarten Wellenlängenbereiche reflektiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß neben  $\lambda/4$ -Schichten  $\lambda/2$ -Schichten eingesetzt sind mit einer Schichtenfolge in Form von zwei aufeinanderfolgenden Schichtstapeln (Doppelstapel) (20), wobei der eine Schichtstapel aus  $\lambda/4$ - (*H*-) und (*L*-) Schichten und der andere Schichtstapel aus abwechselnden  $\lambda/4$ - und  $\lambda/2$ - (*H*-) und (*L*-) Schichten besteht und wobei  $\lambda$  die Auslegungswellenlänge des Interferenzfilters ist.
2. Interferenzfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtenfolge an dem vom Substrat (5) abgekehrten Ende von einer  $\lambda/8$ -Entspiegelungsschicht (231) aus Material mit niedrigerem Brechungsindex begrenzt ist.
3. Interferenzfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Substrat (5) unmittelbar benachbarte Schicht (211) eine  $\lambda/4$ -Schicht ist.
4. Interferenzfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Substrat (5) unmittelbar benachbarte Schicht (211) aus Material mit höherem Brechungsindex besteht.
5. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der eine Schichtstapel aus  $\lambda/4$ -Schichten dem Substrat (5) benachbart angeordnet ist.
6. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der andere Schichtstapel aus abwechselnd  $\lambda/4$ - und  $\lambda/2$ -Schichten dem Substrat (5) benachbart angeordnet ist.
7. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein weiterer Stapel aus  $\lambda/2$ - (*H*-) und (*L*-) Schichten als Verbreiterungsstapel vorgesehen ist, der zwischen einer ersten, unmittelbar auf dem Substrat angeordneten  $\lambda/4$ -Schicht (211) und der weiteren Schichtenfolge, bestehend aus dem Doppelstapel (20), angeordnet ist.
8. Interferenzfilter nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Verbreiterungsstapel (*H*- und *L*-) Schichten in einer Anzahl hat, die kleiner oder gleich der halben Anzahl der Schichten des Doppelstapels (20) ist.
9. Interferenzfilter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Schichtstapel des Doppelstapels (20) jeweils eine gleiche oder um Eins verschiedene Anzahl von Schichten haben.
10. Interferenzfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es auf der Seite des Substrats (5) angeordnet ist, an der die zu reflektierende bzw. durchzulassende Strahlung einfällt.
11. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (5) aus Quarzglas besteht.
12. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß als Material für die (*H*- und *L*-) Schichten absorptions-

freie Oxide eingesetzt sind.

13. Interferenzfilter nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Material für die (*H*-) Schichten (21, 211) mit höherem Brechungsindex  $\text{TiO}_2$  vorzugsweise in Form von Rutil, ist.
14. Interferenzfilter nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Material für die (*L*-) Schichten (23, 231) mit niedrigerem Brechungsindex  $\text{SiO}_2$  ist.
15. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß seine Gesamtschichtanzahl  $N \leq 30$  beträgt.
16. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Doppelstapel (20) insgesamt eine Anzahl von (*H*- und *L*-) Schichten aufweist  $N = 9$  bis 21.
17. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß es für sichtbare Strahlung im Wellenlängenbereich von 0,43 bis 0,70  $\mu\text{m}$  eine hohe Durchlässigkeit und für Strahlung außerhalb des sichtbaren Teils des Spektrums, insbesondere für Strahlung des nahen Infrarotbereichs, einen hohen Reflexionsgrad aufweist.
18. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Ausbildung eines Wärmereflexionsfilters auf der Wandung eines Glühlampenkolbens als Substrat mit einer Schichtenfolge von insgesamt neun abwechselnden  $\text{TiO}_2$ - und  $\text{SiO}_2$ -Schichten angebracht ist, wovon die erste, unmittelbar auf dem Substrat befindliche Schicht eine  $\text{TiO}_2$ -Schicht ist, wobei die erste bis fünfte, die siebte und die neunte Schicht jeweils  $\lambda/4$ -Schichten sind und wobei die sechste und die achte Schicht jeweils  $\lambda/2$ -Schichten sind.
19. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Ausbildung eines Wärmereflexionsfilters auf der Wandung eines Glühlampenkolbens als Substrat mit einer Schichtenfolge von insgesamt elf abwechselnden  $\text{TiO}_2$ - und  $\text{SiO}_2$ -Schichten angebracht ist, wovon die erste, unmittelbar auf dem Substrat befindliche Schicht eine  $\text{TiO}_2$ -Schicht ist, wobei die erste bis siebte, die neunte und die elfte Schicht jeweils  $\lambda/4$ -Schichten sind und wobei die achte und die zehnte Schicht jeweils  $\lambda/2$ -Schichten sind.
20. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Ausbildung eines Wärmereflexionsfilters auf der Wandung eines Glühlampenkolbens als Substrat mit einer Schichtenfolge von insgesamt siebzehn abwechselnden  $\text{TiO}_2$ - und  $\text{SiO}_2$ -Schichten angebracht ist, wovon die erste, unmittelbar auf dem Substrat befindliche Schicht eine  $\text{TiO}_2$ -Schicht ist, wobei die erste bis neunte, die elfte, dreizehnte, fünfzehnte und die siebzehnte Schicht jeweils  $\lambda/4$ -Schichten sind und wobei die zehnte, die zwölfte, die vierzehnte und die sechzehnte Schicht jeweils  $\lambda/2$ -Schichten sind.
21. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Ausbildung eines Wärmereflexionsfilters auf der Wandung eines Glühlampenkolbens als Substrat mit einer Schichtenfolge von insgesamt siebzehn abwechselnden  $\text{TiO}_2$ - und  $\text{SiO}_2$ -Schichten angebracht ist, wovon die erste, unmittelbar auf dem

Substrat befindliche Schicht eine  $\text{TiO}_2$ -Schicht ist, wobei die erste bis achte, die zehnte, die zwölfte, die vierzehnte und die sechzehnte Schicht jeweils  $\lambda/4$ -Schichten sind und wobei die neunte, die elfte, die dreizehnte, die fünfzehnte und die siebzehnte Schicht jeweils  $\lambda/2$ -Schichten sind.

22. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Ausbildung eines Wärmereflexionsfilters auf der Wandung eines Glühlampenkolbens als Substrat mit einer Schichtenfolge von insgesamt siebzehn abwechselnden  $\text{TiO}_2$ - und  $\text{SiO}_2$ -Schichten angebracht ist, wovon die erste, unmittelbar auf dem Substrat befindliche Schicht eine  $\text{TiO}_2$ -Schicht ist, wobei die erste, die zweite, die vierte, die sechste, die achte und die zehnte bis siebzehnte Schicht jeweils  $\lambda/4$ -Schichten sind und wobei die dritte, die fünfte, die siebte und die neunte Schicht jeweils  $\lambda/2$ -Schichten sind.

23. Interferenzfilter nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß es zur Ausbildung eines Wärmereflexionsfilters auf der Wandung eines Glühlampenkolbens als Substrat mit einer Schichtenfolge von insgesamt fünf- und zwanzig abwechselnden  $\text{TiO}_2$ - und  $\text{SiO}_2$ -Schichten angebracht ist, wovon die erste, unmittelbar auf dem Substrat befindliche Schicht eine  $\text{TiO}_2$ -Schicht ist, wobei die erste, die neunte bis siebzehnte, die neunzehnte, die einundzwanzigste, die dreiundzwanzigste und die fünfundzwanzigste Schicht jeweils  $\lambda/4$ -Schichten sind und wobei die zweite bis achte, die achtzehnte, die zwanzigste, die zweiundzwanzigste und die vierundzwanzigste Schicht jeweils  $\lambda/2$ -Schichten sind.

24. Interferenzfilter nach den Ansprüchen 17 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß als jeweils letzte, am weitesten vom Substrat entfernt liegende Schicht der Schichtenfolge eine  $\text{SiO}_2$ -Schicht als  $\lambda/8$ -Schicht angebracht ist.

25. Verwendung des Interferenzfilters nach den Ansprüchen 1 bis 24 als Wärmereflexionsfilter für Glühlampen, insbesondere für lineare Halogenlampen.

### Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Interferenzfilter auf einem für den sichtbaren Teil des Spektrums transparenten Substrat aus abwechselnden dielektrischen Schichten jeweils aus Material mit höherem ( $H$ ) und mit niedrigerem ( $L$ ) Brechungsindex unter Anwendung von  $\lambda/4$ -Schichten, das so ausgelegt ist, daß Strahlung eines gewünschten Wellenlängenbereichs durchgelassen und Strahlung der benachbarten Wellenlängenbereiche reflektiert wird.

Interferenzfilter mit abwechselnden dielektrischen Schichten aus Materialien mit unterschiedlichen Brechungsindices eignen sich zur Steigerung der Lichtausbeute von Glühlampen. Interferenzfilter, die als Heißlichtspiegel wirken, sind für die sichtbare Strahlung des Spektrums im Wellenlängenbereich von etwa 0,43 bis 0,70  $\mu\text{m}$  weitgehend transparent und für Strahlung der angrenzenden Spektralbereiche relativ hoch reflektierend, daher wird von der Wendel der Glühlampe ausgesandte Infrarotstrahlung von dem auf dem Lampenkolben befindlichen Interferenzfilter auf die Wendel reflektiert, während der von der Wendel emittierte sichtbare Anteil der Strahlung das Filter passieren kann.

Durch die Reflexion des infraroten Strahlungsanteils wird der Wendel zur Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur zuzuführende elektrische Energie deutlich verringert.

Für die Erhöhung des Wirkungsgrades von Glühlampen sind allerdings nicht allein effiziente Filter erforderlich, es kommt darüberhinaus auch z.B. auf die exakte Zentrierung der Wendel und auf eine Wendel mit hohem Emissionsgrad an.

Da bei einer Glühlampe der weitaus größte Teil der aufgenommenen elektrischen Leistung von der Wendel als Wärmestrahlung im nahen Infrarotbereich abgestrahlt wird und nur ein verhältnismäßig geringer Teil der Wendelstrahlung in den sichtbaren Spektralbereich fällt, tritt außerdem eine Wärmebelastung des beleuchteten Objektes durch den Infrarotanteil der Wendelstrahlung ein, was durch ein Filter, z.B. ein Interferenzfilter, vermieden werden kann.

Aus DE-OS 32 27 096 ist eine optische Beschichtung für Glühlampen in Form eines Interferenzfilters auf der Basis von  $\lambda/4$ -Schichten aus Siliciumdioxid  $\text{SiO}_2$  und Tantalpentoxid  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  bekannt, das aus 27 dielektrischen Schichten aufgebaut ist.

Ein genereller Nachteil bei Interferenzfiltern ist, daß sie wegen des komplizierten Vielschichtenaufbaus außerordentlich teuer in der Herstellung sind. Je mehr Filterschichten erforderlich sind, desto länger ist die Dauer des Beschichtungsverfahrens und desto kostspieliger werden die Filter. Ein weiterer Nachteil ist, daß die Filter umso weniger mechanisch haltbar sind, je mehr Schichten angebracht werden müssen, je höher also der Schichtenstapel des Filters ist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das eingangs genannte Interferenzfilter dahingehend zu verbessern, daß die gewünschte optische Filtercharakteristik, d.h. ein Maximum an effektiver Reflexion im Infrarotbereich des Spektrums und ein Maximum an Durchlässigkeit für den sichtbaren Strahlungsanteil des Spektrums mit einer möglichst geringen Anzahl von dielektrischen Schichten erreicht wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß neben  $\lambda/4$ -Schichten  $\lambda/2$ -Schichten eingesetzt sind mit einer Schichtenfolge in Form von zwei aufeinanderfolgenden Schichtstapeln (Doppelstapel), wobei der eine Schichtstapel aus  $\lambda/4$ -( $H$ -) und ( $L$ -) Schichten und der andere Schichtstapel aus abwechselnden  $\lambda/4$ - und  $\lambda/2$ -( $H$ -) und ( $L$ -) Schichten besteht und wobei  $\lambda$  die Auslegungswellenlänge des Interferenzfilters ist.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Schichtenfolge an dem vom Substrat abgekehrten Ende von einer  $\lambda/8$ -Entspiegelungsschicht aus Material mit niedrigerem Brechungsindex begrenzt. Hiermit ist der Vorteil verbunden, daß die Transparenz für den sichtbaren Teil des Spektrums verbessert wird.

Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der eine Schichtstapel aus  $\lambda/4$ -Schichten dem Substrat benachbart angeordnet. Der andere Schichtstapel aus abwechselnden  $\lambda/4$ - und  $\lambda/2$ -Schichten liegt dann zwangsläufig am weitesten vom Substrat entfernt. Diese Schichtenfolge führt in bezug auf den integrierten Reflexionsgrad zu günstigeren Resultaten, wenn das aus ihr gebildete Interferenzfilter auf der Innenwandung eines Glühlampenkolbens angeordnet und der die  $\lambda/2$ -Schichten enthaltende Schichtstapel damit zur Seite des Lichteinfalls hin angeordnet ist.

Nach einer vorteilhaften weiteren Ausgestaltung des Interferenzfilters gemäß der Erfindung ist ein weiterer Stapel aus  $\lambda/2$ -( $H$ -) und ( $L$ -) Schichten als Verbreite-

rungsstapel vorgesehen, der zwischen einer ersten, unmittelbar auf dem Substrat angeordneten  $\lambda/4$ -Schicht und der weiteren Schichtenfolge, bestehend aus dem Doppelstapel, angeordnet ist.

Durch Einbau des Verbreiterungsstapels ergibt sich der Vorteil, daß der integrierte Reflexionsgrad der Schichtenfolge aus ( $H$ -) und ( $L$ -) Schichten bis auf 91% gesteigert werden kann, wobei die Breite des Transparenzgebietes im noch vertretbaren Rahmen reduziert wird. Es wurde gefunden, daß die Anzahl der Schichten des Verbreiterungsstapels vorzugsweise kleiner oder gleich der halben Anzahl der Schichten des Doppelstapels sein sollte. Optimal ist damit eine Anzahl von 10 Schichten für den Verbreiterungsstapel, da das Interferenzfilter aus verfahrenstechnischen und insbesondere Kostengründen insgesamt nicht mehr als 30 Schichten aufweisen sollte.

Vorzugsweise ist das Interferenzfilter auf der Seite des Substrates angeordnet, an der die zu reflektierende bzw. durchzulassende Strahlung einfällt. Bei Verwendung des Interferenzfilters als Wärmereflexionsfilter für Glühlampen wäre das Interferenzfilter damit auf der Innenwandung des Glühlampenkolbens anzuordnen. Es ist jedoch auch möglich, das Interferenzfilter auf der Außenwandung eines Glühlampenkolbens anzubringen.

Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, im Doppelstapel jeweils alle ( $H$ -) Schichten aus Material mit höherem Brechungsindex als  $\lambda/4$ -Schichten und die ( $L$ -) Schichten aus Material mit niedrigerem Brechungsindex dementsprechend zum Teil als  $\lambda/4$ - und zum anderen Teil als  $\lambda/2$ -Schichten auszubilden. Aus mechanischen Gründen kann es nun aber zweckmäßig sein, das Material mit niedrigerem Brechungsindex nicht für  $\lambda/2$ -Schichten einzusetzen: für diesen Fall können für den Aufbau des Doppelstapels auch alle  $\lambda/4$ -Schichten aus Material mit niedrigerem Brechungsindex ( $L$ ) hergestellt werden und dementsprechend wird dann ein Teil der Schichten aus Material mit höherem Brechungsindex ( $H$ ) als  $\lambda/2$ - und der andere Teil als  $\lambda/4$ -Schichten ausgebildet.

Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin, daß Interferenzfilter mit integrierten Reflexionsgraden für Strahlung aus dem Infrarotbereich des Spektrums bis zu  $\approx 91\%$  mit einer vergleichsweise geringen Anzahl von Schichten aufgebaut werden können.

Anhand der Zeichnung werden Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben und in ihrer Wirkungsweise erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a Prinzipdarstellung einer linearen Halogen-Glühlampe

Fig. 1b vergrößerter Ausschnitt der Wandung der in Figur 1a dargestellten Halogen-Glühlampe mit Wärmereflexionsfilter.

Fig. 2 Schematische Darstellung des erwünschten spektralen Verlaufes des Reflexionsgrades  $R_\lambda$  eines Wärmereflexionsfilters für Glühlampenanwendung.

Fig. 3 bis 11b graphische Darstellung des Reflexionsgrades  $R_\lambda$  für unterschiedlich aufgebaute Interferenzfilter nach der Erfindung für unterschiedliche Wellenlängenbereiche.

In Fig. 1 ist schematisch eine lineare Halogen-Glühlampe 10 mit einem Lampenkolben 3, einem Lampenkolbenteil 5 in Form eines zylindrischen Quarzrohres als Träger für ein Wärmereflexionsfilter, das in seinem Schichtaufbau in Fig. 1b gemäß dem Ausschnitt A aus Fig. 1a dargestellt ist, mit einer Fadenwendel 7, z.B. aus Wolfram, und Montagehalterungen 9 für die Fadenwendel 7.

Auf der Innenwandung des Lampenkolbenteiles 5 in Form eines zylindrischen Quarzrohres ist ein Interferenzfilter angebracht, das aus einem Doppelstapel 20 mit einer Schichtenfolge von Schichten 21, 211 aus Material mit höherem Brechungsindex ( $H$ ) und von Schichten 23, 231 aus Material mit niedrigerem Brechungsindex ( $L$ ) besteht.

Als Material mit niedrigerem Brechungsindex ( $L$ ) wurde vorzugsweise  $\text{SiO}_2$  eingesetzt, als Material mit höherem Brechungsindex ( $H$ ) wurde vorzugsweise  $\text{TiO}_2$  eingesetzt. Der Brechungsindex des  $\text{TiO}_2$  in Form von Rutil ist im relevanten Wellenlängenbereich 0,3 bis 3  $\mu\text{m}$   $n_H \approx 2,45$  und für  $\text{SiO}_2$   $n_L \approx 1,45$ .

Das Interferenzfilter weist bis zu 30 Schichten insgesamt auf, auf den Aufbau spezieller Filter wird weiter unten in einzelnen eingegangen.

Die Filterschichten 21, 211, 23 und 231 können auf unterschiedliche Weise auf dem Substrat, in den Ausführungsbeispielen ein Lampenkolben aus Quarzglas, angebracht werden. Brauchbare Resultate werden erhalten, wenn die Schichten auf dem auf eine Temperatur  $> 400^\circ\text{C}$  erhitzten Substrat aus einer reaktiven Gasphase niedergeschlagen werden (chemical vapour deposition, CVD). Als Ausgangsverbindungen kommen  $\text{SiCl}_4 + \text{O}_2$  für die Abscheidung von  $\text{SiO}_2$  und  $\text{TiO}_2 + \text{O}_2$  für die Abscheidung von  $\text{TiO}_2$  in Betracht. Die Schichten können jedoch auch mittels eines Tauchverfahrens aus metallorganischen Verbindungen in alkoholischer Lösung abgeschieden werden. Die erwähnten Beschichtungstechniken sind dem Fachmann bekannt, z.B. aus Philips Technical Review 41 (1983/84), Nr. 7/8, Seiten 225 bis 238 oder aus "Coatings on Glass", H.K. Pulker, Elsevier (1984).

In Fig. 2 ist der erwünschte spektrale Verlauf des Reflexionsgrades  $R_\lambda$  eines Wärmereflexionsfilters für Glühlampenanwendung dargestellt.  $W_\lambda$  ist dabei die spezifische Ausstrahlung der Drahtwendel der Glühlampe bei 3000 K mit einem angenommenen Emissionsgrad für Wolfram nach de Vos.  $V_\lambda$  bezeichnet die spektrale Hellempfindlichkeit des Auges.

Bei Untersuchungen, die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegen, hat sich gezeigt, daß Filterkennlinien, die dem gewünschten Reflexionsgrad, wie er in Fig. 2 schematisch dargestellt ist, entsprechen, mit  $\lambda/4$ - oder  $\lambda/2$ -Schichten in bestimmter Konfiguration zu realisieren sind, d.h.  $n_H d_H = \lambda/4$  oder  $\lambda/2$ ,  $n_L d_L = \lambda/4$  oder  $\lambda/2$  (worin  $n_H$  der Brechungsindex für das Material mit höherem Brechungsindex ( $H$ ),  $n_L$  der Brechungsindex des Materials mit niedrigerem Brechungsindex ( $L$ ),  $d_H, d_L$  die geometrischen Schichtdicken dieser Materialien und die Auslegungswellenlänge des Filters  $\lambda = 1,1 \mu\text{m}$ ).

Es wurde überraschenderweise gefunden, daß für jede Schichtenzahl des Doppelstapels bis  $N = 20$  eine Doppelstapel-Struktur, die für das Material mit höherem Brechungsindex ( $H$ ) nur  $\lambda/4$ - und für das Material mit niedrigerem Brechungsindex ( $L$ )  $\lambda/4$ - und  $\lambda/2$ -Schichten zuläßt, zu optimalen Filterkennlinien im Sinne der Fig. 2 führt. Der Doppelstapel kann jedoch auch so aufgebaut werden, daß alle ( $L$ -) Schichten als  $\lambda/4$ -Schichten und die ( $H$ -) Schichten zum einen Teil als  $\lambda/4$ -Schichten und zum anderen Teil als  $\lambda/2$ -Schichten ausgebildet sind. Geeignete Doppelstapelfilterstrukturen sind in den nachfolgenden Beispielen beschrieben.

#### Beispiel 1

Interferenzfilter mit einem Doppelstapel aus  $N = 9$  Schichten + 1 Entspiegelungsschicht mit der Konfigu-

ration:

S/HLHLHL/HL'H L'';

S = Substrat aus Quarzglas  
H =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/2$ -Schicht  
L'' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/8$ -Schicht.

Das Reflexionsspektrum der Interferenzfilterstruktur gemäß Beispiel 1 ist in Fig. 3 dargestellt, wobei von einem Wert für die Auslegungswellenlänge des Filters  $\lambda = 0,90 \mu\text{m}$  ausgegangen wurde. Die (H-) und (L-) Schichtenfolge des Doppelstapels 20 dieses Interferenzfilters ist in Fig. 1b dargestellt, wobei die vom Substrat 5 aus gesehen ersten vier (H-) und (L-) Schichten 211, 121, 23 den einen Schichtstapel und die folgenden fünf (H-) und (L-) Schichten 21, 23 den anderen Schichtstapel des Doppelstapels 20 bilden. Mit dem Bezugszeichen 231 ist die Entspiegelungsschicht bezeichnet.

#### Beispiel 2

Interferenzfilter mit einem Doppelstapel mit  $N = 11$  Schichten mit der Konfiguration:

S/HLHLHLHL/HL'H;

S = Substrat aus Quarzglas  
H =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/2$ -Schicht.

#### Beispiel 3

Interferenzfilter mit einem Doppelstapel aus  $N = 17$  Schichten mit der Konfiguration:

S/HLHLHLHLHL/HL'HL'HL'H;

S = Substrat aus Quarzglas  
H =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/2$ -Schicht.

Die Anordnung des die  $\lambda/2$ - (L-) Schichten enthaltenden Schichtstapels zur Seite der einfallenden zu reflektierenden bzw. durchzulassenden Strahlung hin führt dabei zu geringfügig günstigeren Filterkennlinien.

Fig. 4 zeigt das Reflexionsspektrum des Doppelstapels mit  $N = 17$  Schichten, wobei die Transparenz im sichtbaren Bereich des Spektrums durch die Addition einer  $\lambda/8$ - (L-) Entspiegelungsschicht als am weitesten vom Substrat entfernt liegende Schicht noch deutlich verbessert wird (vergleiche Fig. 5). Auslegungswellenlänge dieses Filters ist  $\lambda = 1,1 \mu\text{m}$ . Der außerhalb des Transparenzbereiches für Strahlung einer Wellenlänge von  $0,43$  bis  $0,7 \mu\text{m}$  über die Wendelstrahlung (vergleiche Fig. 2) gemittelte Reflexionswert beträgt für dieses Ausführungsbeispiel 77%. Die Auslegung der Bandkannte auf  $\lambda \approx 0,75 \mu\text{m}$  bei senkrechtem Lichteinfall bewirkt, daß die Blauverschiebung des Transparenzbereiches für Winkel bis  $\rho \approx 45^\circ$  keine Farbortänderung hervorruft.

Anzumerken ist, daß bei Winkeln ab  $\rho \approx 45^\circ$  eine scharfe Reflexionsspitze bei  $\lambda = 0,50 \mu\text{m}$  auftritt, deren Einfluß auf den Farbort jedoch durch leichtes Verstimmen des Doppelstapels gemildert wird. Unter Verstimmen ist eine geringfügige Erhöhung aller geometrischen Dicken der L-Schichten um den gleichen Prozentsatz ( $\approx 2\%$ ) zu verstehen.

In Fig. 6 ist die Stabilität eines entspiegelten Doppelstapels mit  $N = 17$  Schichten + 1 Entspiegelungsschicht gegenüber einer statistischen Variation der Schichtdicken (Schichtdickenfehler maximal  $\pm 5\%$ ) dargestellt. Während die Filterkonfiguration im infraroten Spektralbereich völlig stabil gegen derartige Fehler zu sein scheint, können im sichtbaren Bereich des Spektrums Farbortänderungen auftreten.

Ein Vergleich der Fig. 7 und 5 zeigt, daß der Einfluß der Dispersion des  $\text{TiO}_2$  Brechungsindex nur im Wellenlängenbereich unterhalb von  $0,5 \mu\text{m}$  spürbar ist, insgesamt jedoch bei der Gestaltung der Interferenzfilter eine untergeordnetere Rolle spielt.

Es kann aus Gründen der mechanischen Spannungsfreiheit vorteilhaft sein, die (L-) Schichten des Interferenzfilters nicht als  $\lambda/2$ -Schichten auszubilden; für diesen Fall bieten sich komplementäre, inverse Doppelstapelstrukturen an. Diese verwenden im Falle des (L-) Materials nur  $\lambda/4$ -Schichten und erweisen sich bezüglich der Infrarotreflexion als gleichwertig zu Filtern mit  $\lambda/2$ - (L-) Schichten. Das Reflexionsspektrum im Transparenzbereich ist für diese Schichten etwas ungünstiger.

#### Beispiel 4

Interferenzfilter mit einem inversen Doppelstapel mit  $N = 17$  Schichten + 1 Entspiegelungsschicht mit der Konfiguration:

S/HLHLHLHLHL/LH'LH'LH'LH'L'';

S = Substrat aus Quarzglas  
H =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
H' =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/2$ -Schicht  
L =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L'' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/8$ -Schicht.

Das Reflexionsspektrum dieses Interferenzfilters ist in Fig. 8 dargestellt.

#### Beispiel 5

Interferenzfilter mit einem inversen, jedoch anders strukturierten Doppelstapel aus  $N = 17$  Schichten + 1 Entspiegelungsschicht mit der Konfiguration:

S/HLH'LH'LH'LH'LHLHLHL L'';

S = Substrat aus Quarzglas  
H =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
H' =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/2$ -Schicht  
L =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L'' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/8$ -Schicht.

Das Reflexionsspektrum dieser Filterstruktur ist in Fig. 9 dargestellt.

Der außerhalb des Spektralbereiches für sichtbare Strahlung ( $0,43$  bis  $0,70 \mu\text{m}$ ) über die spezifische Ausstrahlung der Wendel bei  $3000 \text{ K}$  ( $W_\lambda$ ) gemittelte Reflexionsgrad der Interferenzfilter gemäß den Beispielen 1 bis 5 bleibt — auch bei beliebig hoher Schichtenzahl — auf 80% begrenzt, da das Gebiet hoher Reflexion nur bis  $\lambda \approx 2 \mu\text{m}$  reicht.

Um im infraroten Spektralbereich eine breitbandige Reflexion zu erreichen, ist es möglich, die Doppelstapelstrukturen gemäß den Beispielen 1 bis 5 durch einen Verbreiterungsstapel aus L- und H-Schichten zu erweitern, wobei dieser Verbreiterungsstapel vorzugsweise  $\lambda/2$ - (L- und H-) Schichten bei einem Wert für die Auslegungswellenlänge des Filters  $\lambda = 1,1 \mu\text{m}$  aufweist.

## Beispiel 6

Interferenzfilter mit einem Doppelstapel aus  $N = 17$  Schichten + 1 Entspiegelungsschicht + Verbreiterungstapel mit 8 Schichten mit der Konfiguration: 5

S/HL'H'L'H'L'H'L' HLHLHLHL HL'HL'HL'HL'H  
L'';

S = Substrat aus Quarzglas  
H =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht 10  
H' =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/2$ -Schicht  
L =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/2$ -Schicht  
L'' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/8$ -Schicht. 15

Das Reflexionsspektrum des Interferenzfilters gemäß Beispiel 6 ist in den Fig. 10a und 10b für verschiedene Wellenlängenbereiche dargestellt. Der integrierte Reflexionsgrad des Interferenzfilters mit Doppelstapelstruktur gemäß den Beispielen 4 und 5 wird durch den Verbreiterungstapel aus  $\lambda/2$ -(H- und L-) Schichten von 77% auf 89% gesteigert, wobei die Breite des spektralen Bereiches, für den das Interferenzfilter durchlässig ist, etwas reduziert wird. Dieser Transparenzbereich wird geringfügig vergrößert bei der nachfolgenden Filterstruktur gemäß Beispiel 7. 25

## Beispiel 7

Interferenzfilter mit einem Doppelstapel aus  $N = 21$  Schichten + 1 Entspiegelungsschicht + Verbreiterungstapel aus 8 Schichten mit der Konfiguration: 30

S/HL'H'L'H'L'H'L' HLHLHLHLHL  
HL'HL'HL'HL'HL'L''; 35  
S = Substrat aus Quarzglas  
H =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
H' =  $\text{TiO}_2$  als  $\lambda/2$ -Schicht  
L =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/4$ -Schicht  
L' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/2$ -Schicht 40  
L'' =  $\text{SiO}_2$  als  $\lambda/8$ -Schicht.

Das Reflexionsspektrum des Interferenzfilters gemäß Beispiel 7 ist in den Fig. 11a und 11b für verschiedene Wellenlängenbereiche dargestellt. Mit diesem Interferenzfilter wird ein integrierter Reflexionsgrad von 91% erreicht. 45

Es hat sich gezeigt, daß mit Anwendung eines Verbreiterungstapels aus  $\lambda/2$ -(L- und H-) Schichten ebenfalls eine breitbandige Reflexion im Infraroten erreicht werden kann bei einer inversen Doppelstapel-Struktur, d.h. bei einer Struktur, bei der alle (L-) Schichten des Doppelstapels  $\lambda/4$ -Schichten, die (H-) Schichten des einen Schichtstapels dagegen  $\lambda/4$ - und des anderen Schichtstapels  $\lambda/2$ -Schichten sind. 50 55

3538996

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

35 38 996  
G 02 B 5/28  
2. November 1985  
14. Mai 1987

1/14

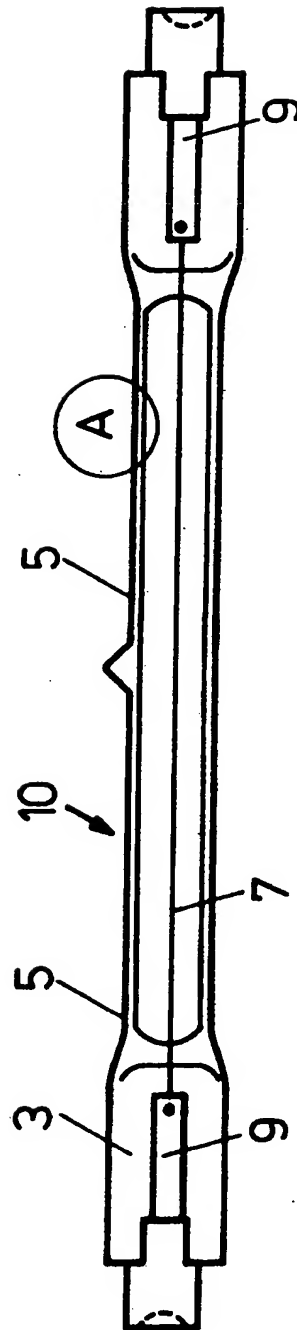


Fig.1a

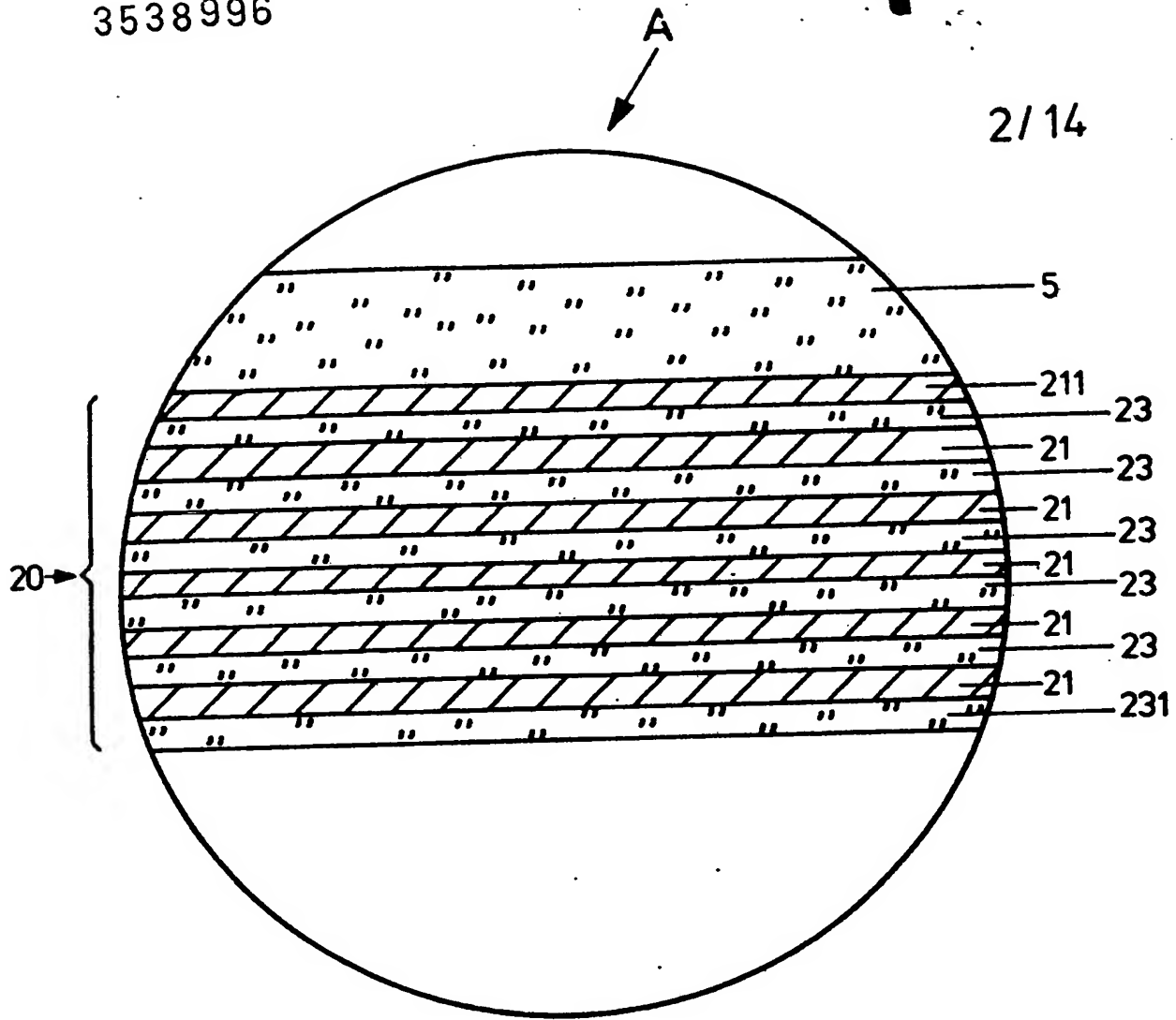


Fig.1b



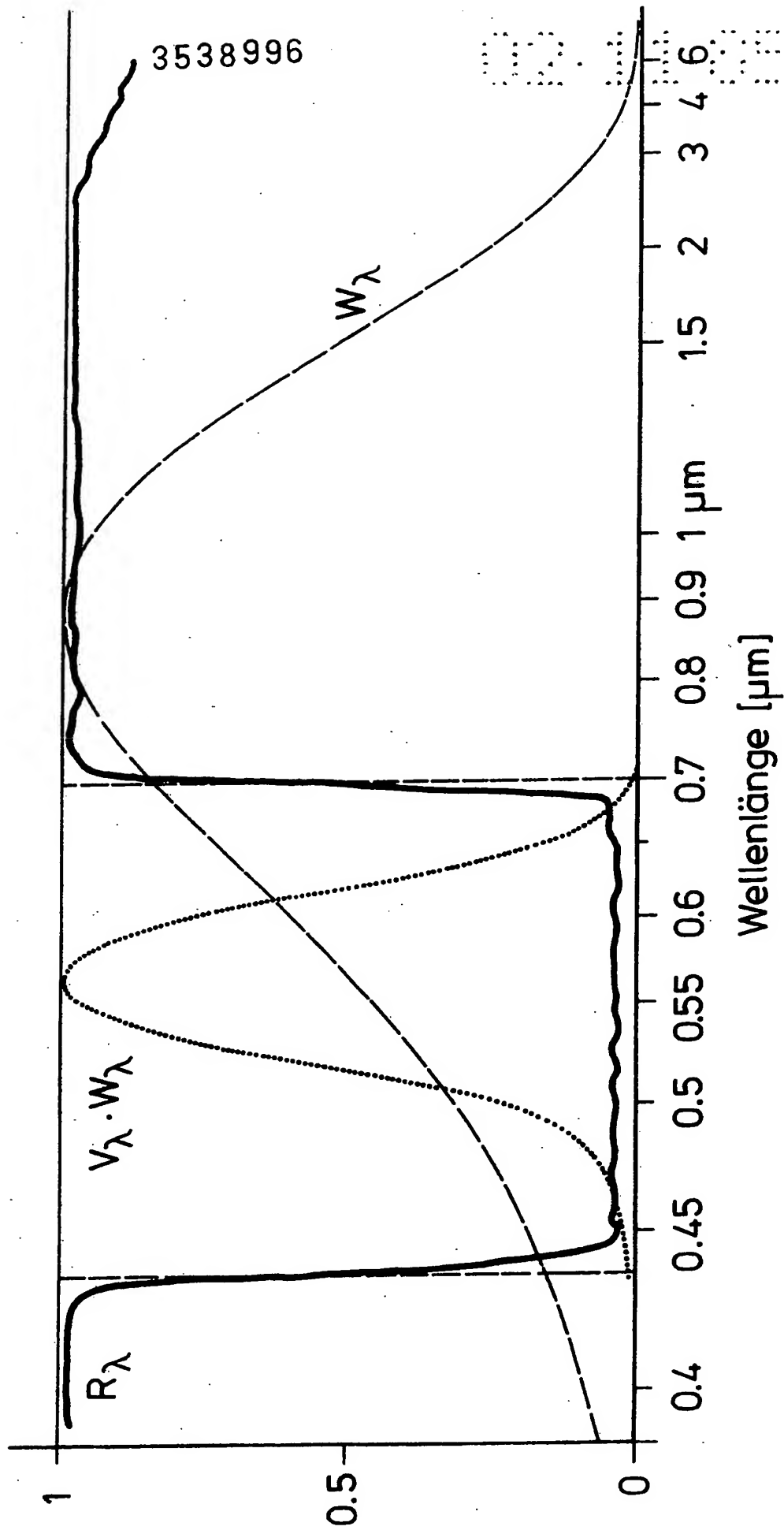
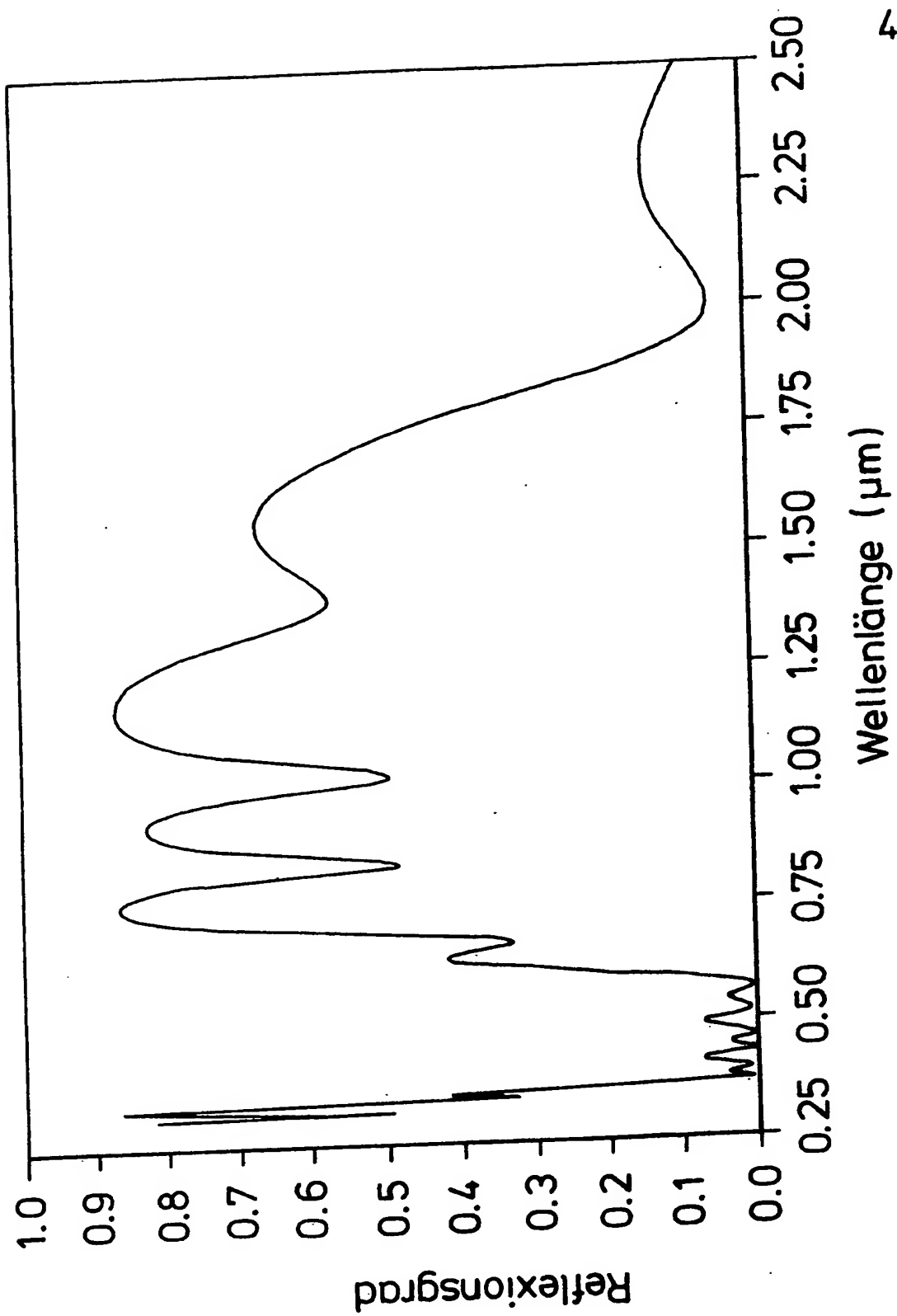
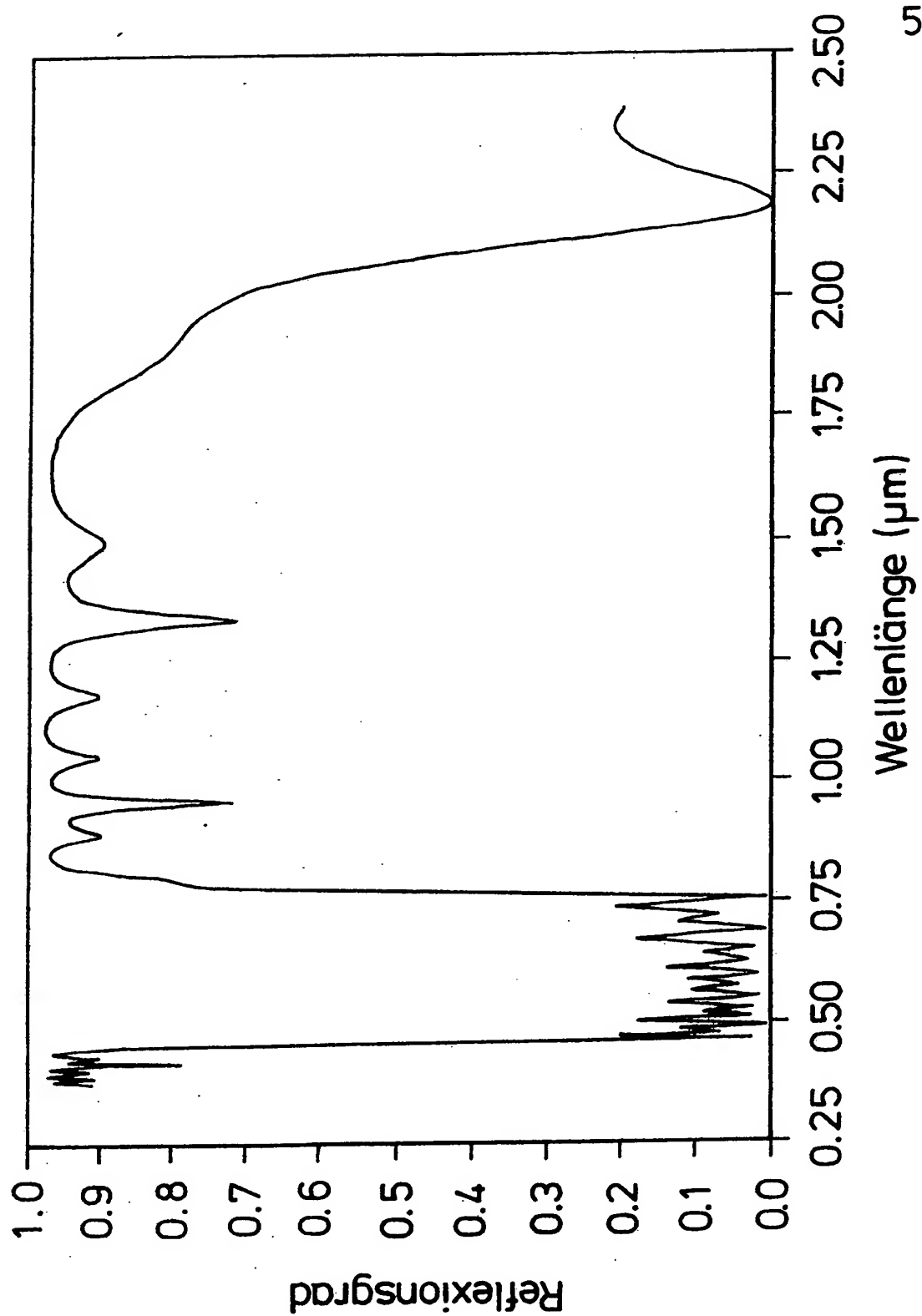


Fig. 2



4/14

Fig. 3

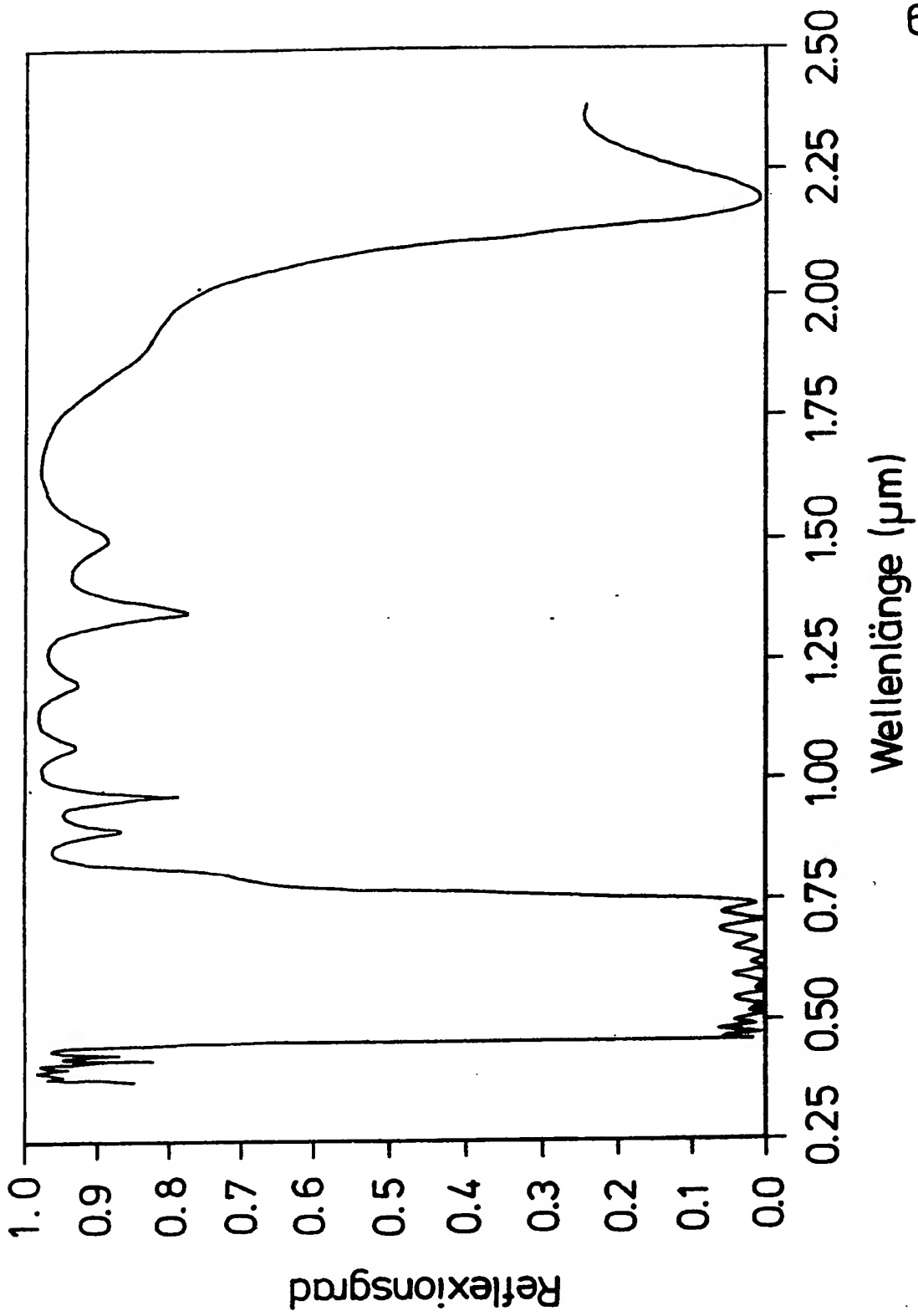


5 / 14

Fig.4

00 11 85

3538996

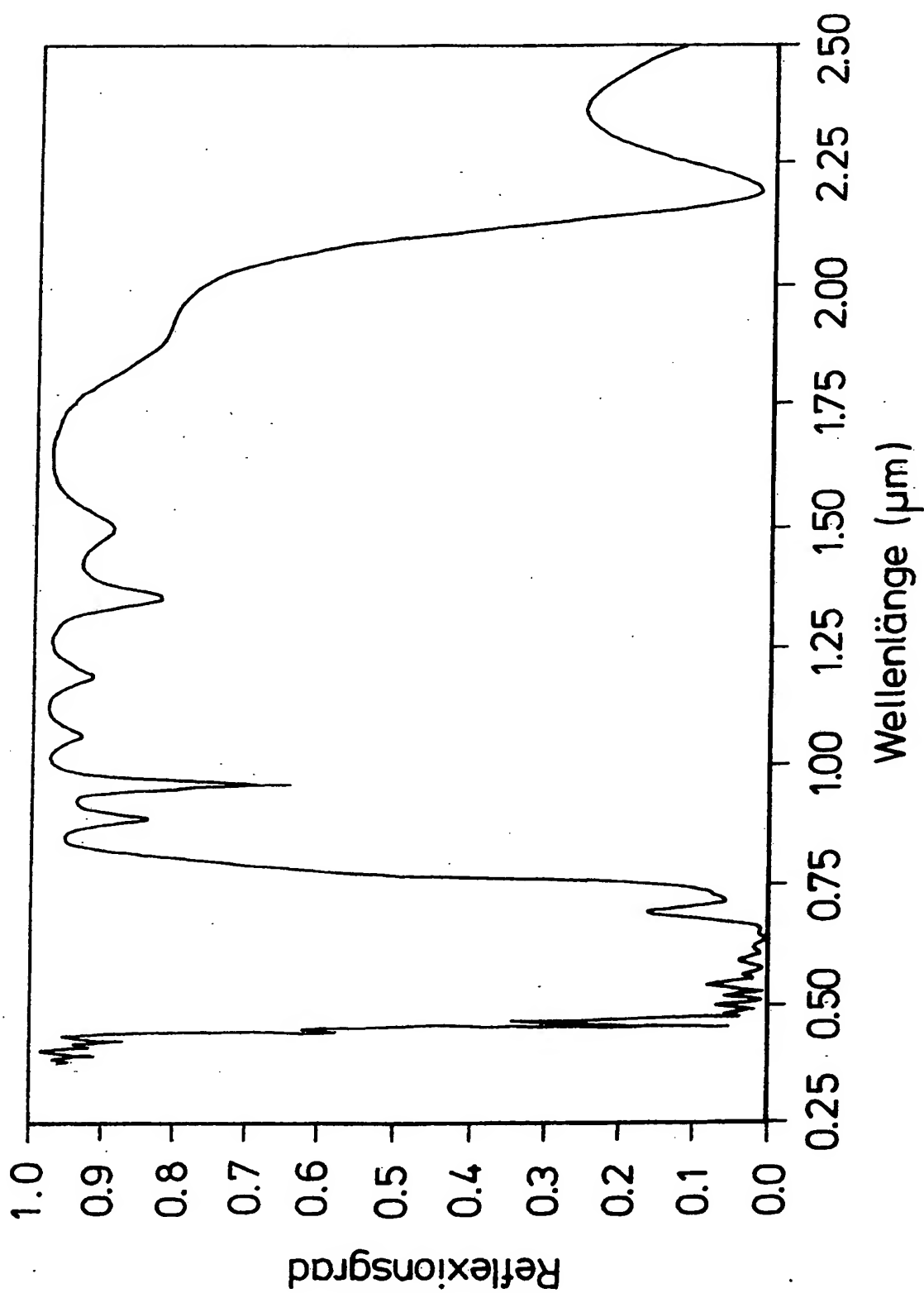


6/14

Fig.5

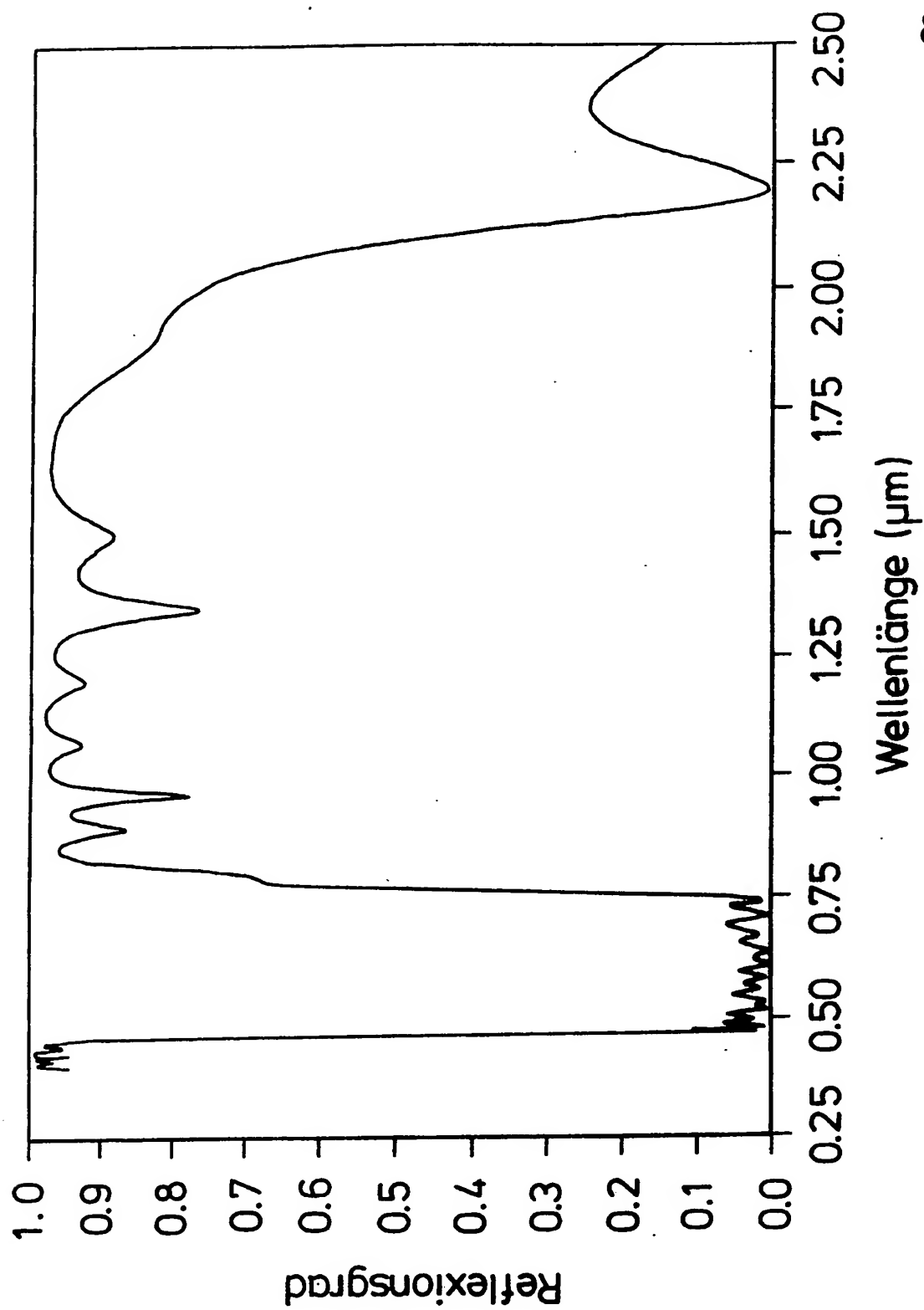
3538996

02.11.85



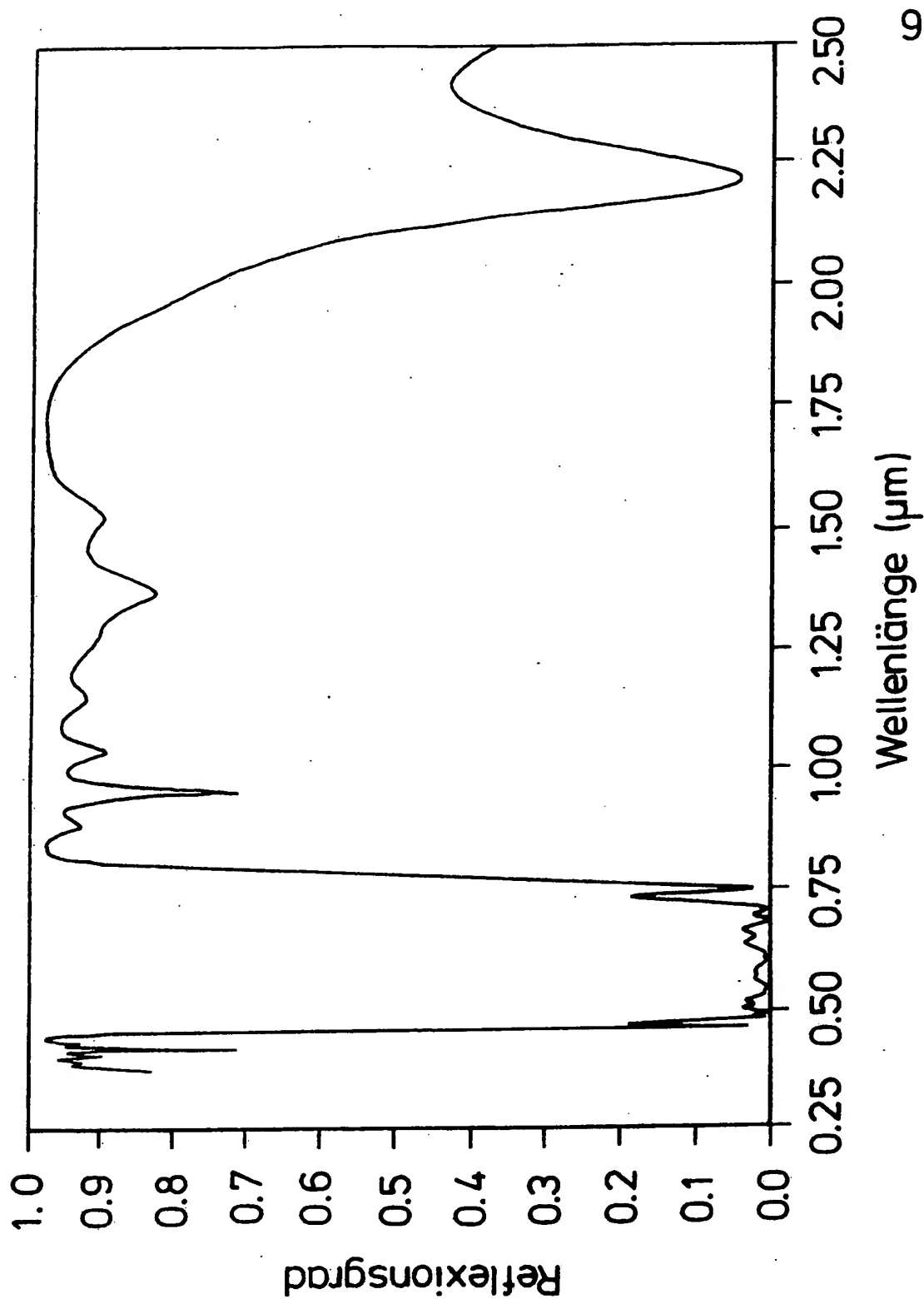
7/14

Fig. 6



8/14

Fig.7

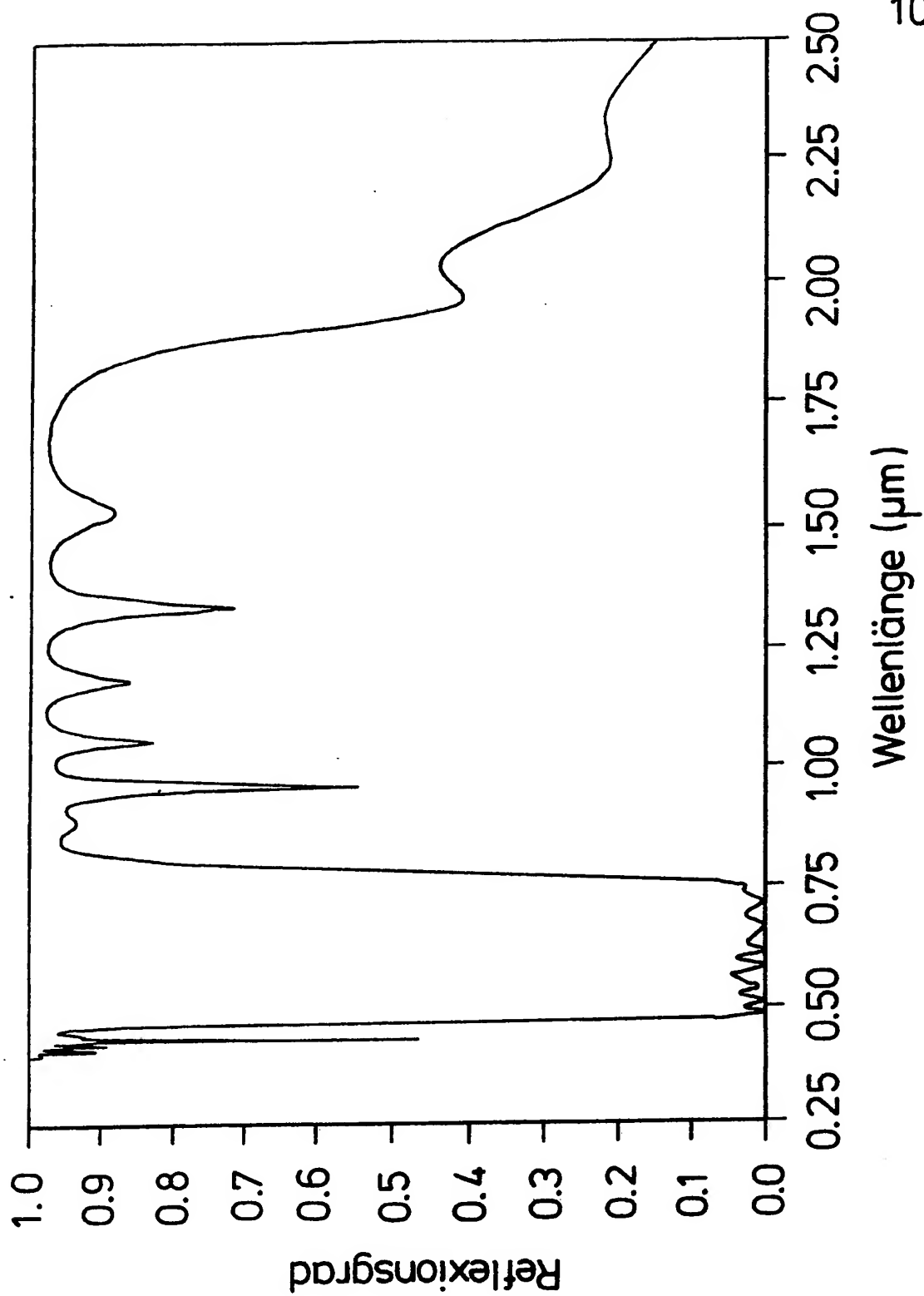


9/14

Fig.8

3538996

02.11.85



10/14

Fig.9



3538996

001185

11 / 14

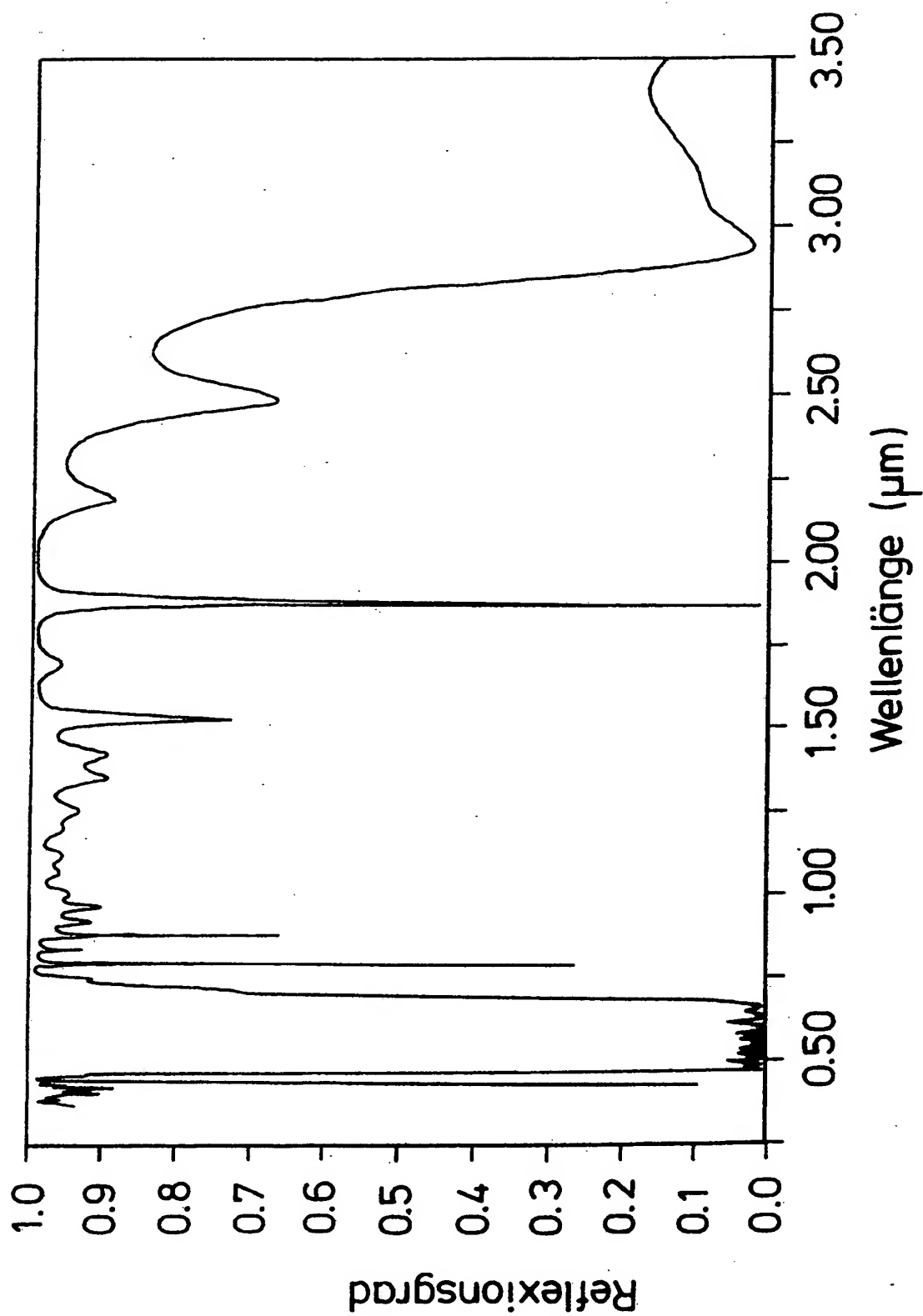
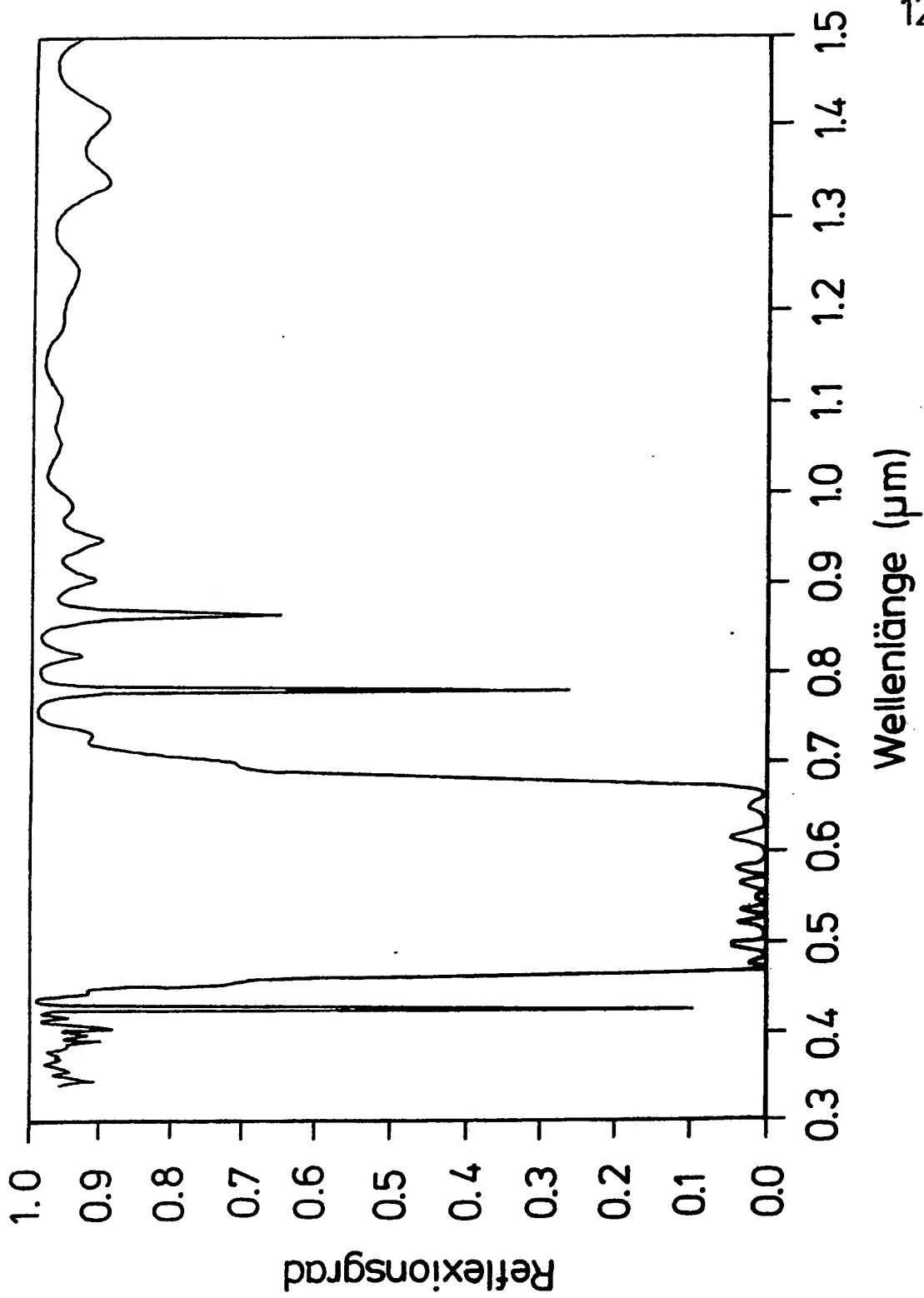


Fig.10a

3538996



12/14

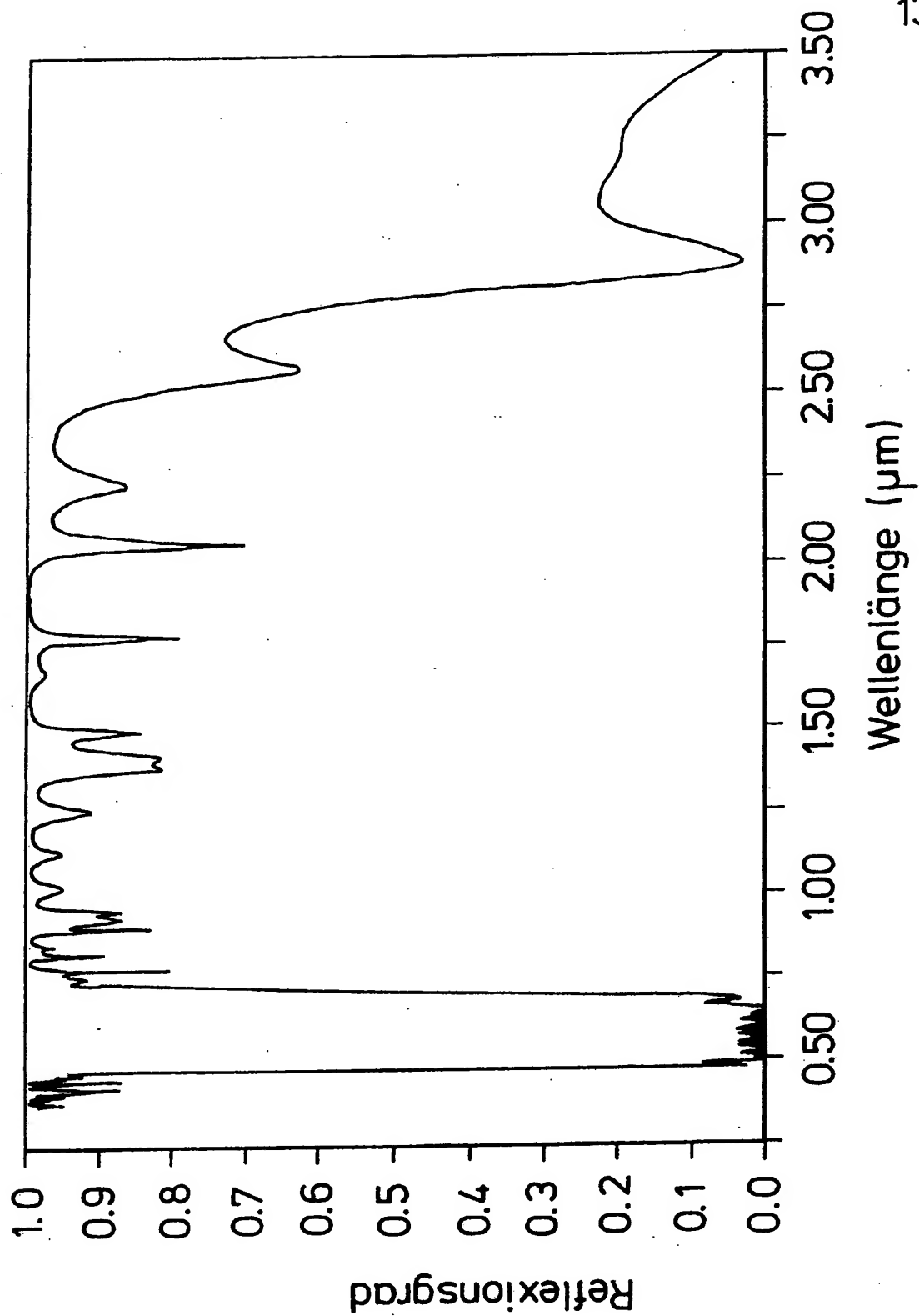
Fig.10 b

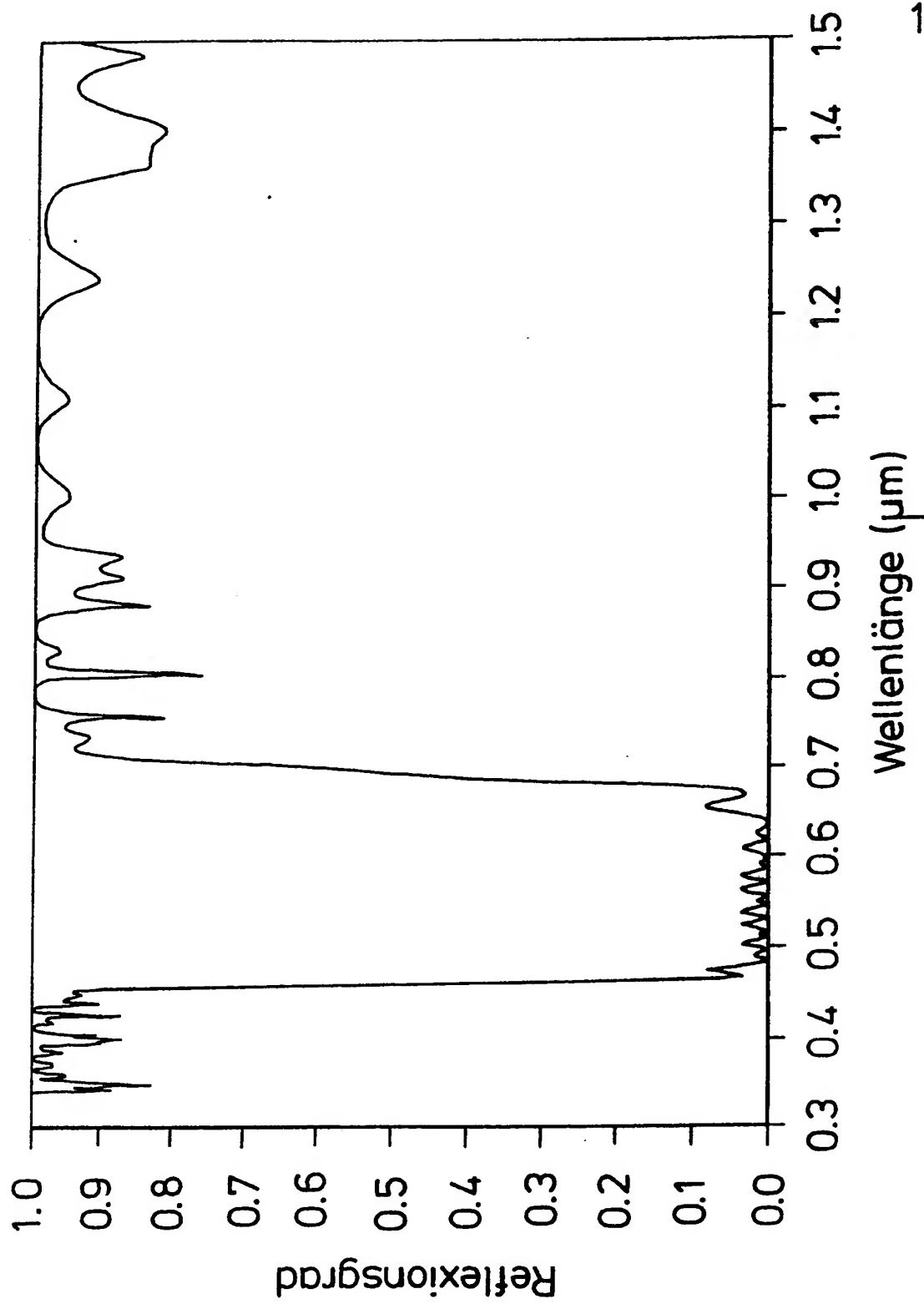
3538996

02.1.85

13/14

Fig.11a





14/14

Fig. 11b